

UNNINGTUJIEGOUYU
QITIJIEGOU

混凝土结构与 砌体结构

杨茂森 郭清燕 梁利生 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

TU37
Y236

混凝土结构与砌体结构

主 编 杨茂森 郭清燕 梁利生
副主编 宋要斌 王舒萍 关春敏 申素芳

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书主要根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)及相关规范编写而成,系统而全面地讲解了钢筋和混凝土的力学性能,建筑结构的基本设计原则,受弯构件承载力计算,受压构件承载力计算,钢筋混凝土受拉构件承载力计算,受扭构件承载力计算,预应力混凝土构件,钢筋混凝土梁板结构,单层厂房排架结构,多、高层框架结构,砌体结构等知识要点。

本书编写由浅入深,针对性强,重点突出,可作为高等院校相关专业教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构与砌体结构/杨茂森,郭清燕,梁利生主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.6

ISBN 978-7-5640-2404-8

I. 混… II. ①杨…②郭…③梁… III. ①混凝土结构②砌块结构
IV. TU37 TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 109531 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通州京华印刷制版厂

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 445 千字

版 次 / 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

责任校对 / 申玉琴

定 价 / 39.00 元

责任印制 / 母长新

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书编委会联系。邮箱:bitdayi@sina.com

图书出现印装质量问题,请与本社市场部联系,电话:(010)68944990

出版说明

建筑业作为我国国民经济发展的支柱产业之一，长期以来为国民经济的发展做出了突出的贡献。特别是进入 21 世纪以后，建筑业发生了巨大的变化，我国的建筑施工技术水平跻身于世界先进行列，在解决重大项目的科研攻关中得到了长足的发展，我国的建筑施工企业已成为发展经济、建设国家的一支重要的有生力量。

随着社会的发展，城市化进程的加快，建筑领域科技的进步，市场竞争将日趋激烈；此外，随着全球一体化进程的加快，我国建筑施工企业面对的不再是单一的国内市场，跨国、跨地区、跨产业的竞争模式逐渐成为一种新的竞争手段。因此，建筑行业对人才质量的要求也越来越高。

教材作为体现教学内容和教学方法的知识载体，是进行教学活动的基本工具，是深化教育教学改革、保障和提高教学质量的重要支柱和基础。教育部自 1998 年颁布新的《普通高等院校本科专业目录》以来，多次提出深化高等教育改革、提高人才培养质量的指导性意见和具体措施，各高校（院系）根据我国经济社会发展的新形势，紧密结合建设行业发展的实际，结合本校、本院系的实际，在实践中积极探索，在改革中不断创新，总结出了许多新经验。实践证明，加强施工理论与应用的研究对于提高施工技术的高科技含量，高质量、高效率地完成大型工程建设，促进高效的施工技术成果在建筑工程中的推广应用，实现施工技术现代化，并最终实现我国建筑业的现代化具有重要作用。

为适应高等学校专业调整后教学改革的需要，北京理工大学出版社邀请国内部分高等院校老师和具有丰富实践经验的工程师、技术人员组成编写组，组织编写并出版了本系列教材。该系列教材以“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”为宗旨，考虑土建类专业教材“教”与“学”的要求，从土建工程施工管理工作对人才的要求出发，通过对职业岗位的调查分析和论证，紧紧围绕培养目标，较好地处理了基础课与专业课的关系、理论教学与实践教学的关系、统一要求与体现特色的关系，以及传授知识、培养能力与加强素质教育的关系等。

本系列教材特点如下：

一、作者队伍由教师、工程师组成，专业优势突出

本系列教材作者队伍均来自教学一线和工程实践一线，其一是具有丰富教学经验的教师，因此教材内容更加贴近教学实际需要，方便“老师的教”和“学生的学”，增强了教材的实用性；其二是建筑设计与建筑施工管理的工程师或建筑业专家，在编写内容上更加贴近工程实践需要，从而保证了学生所学到的知识就是工程建设岗位所需要的知识，真正做到“学以致用”。

二、教材理论够用，重在实践

本系列教材严格依据高等院校人才培养目标进行定位，以适应社会需求为目标，以培养技术能力为主线，在内容选择上充分考虑土建工程专业的深度和广度，以“必需、够用”为度，以“讲清概念、强化应用”为重点，深入浅出，注重实用。本系列教材除设置主干课程以外，还设置了以实践为主旨，配合主干课程学习的实践、实训指导，注重学生实践能力的培养。

三、教材体例设计独特，方便教学

本系列教材内容在体例设计上新颖独特，每章前面设置有【学习重点】和【培养目标】，对本章内容和教学要求作出了引导；每章后面设置有【本章小结】，对本章的重点内容进行了概括性总结。此外，每章后面还设置了【思考与练习】，供学生课后练习使用，构建了一个“引导—学习—总结—练习”的教学全过程。

四、教材内容新颖，表现形式灵活

本系列教材在编写过程中，突出一个“新”字，教材以现行国家标准、行业标准为依据，编入了各种新材料、新工艺、新技术；对理论性强的课程，采用图片、表格等形式加以表现，使枯燥无味的理论学习变得轻松易懂，在方便教学的同时激发学生的学习兴趣。

五、教材具有现代性，内容精简

本系列教材编写过程中，编委会特别要求教材不仅要具有原理性、基础性，还要具有现代性，纳入最新知识及发展趋势。对教学课程的设置力求少而精，并通过整合的方法有效地进行精减。这样做不只是为了精减学时，更主要的是可淡化细节，强化理论、注重实践，有助于传授知识与能力培养的协调和发展。

六、教材内容全面，适用面广

本系列教材的编写充分考虑了我国不同地域各高校的办学条件，旨在加强学生能力的培养，尤其是在实践能力的培养方面进行了慎重考虑和认真选择，同时也充分考虑了土建类专业特点；教材可供各高等学校、应用型本科院校、成人高等院校土木工程、建筑工程及其他相关专业学生使用，也可作为建筑工程施工及技术管理人员的参考用书。

教学改革是一个不断深化的过程，教材建设是高等院校教育改革的一项基础性工程，同时也是一个不断推陈出新的过程。要真正做到出精品教材，出特色教材，一方面需要编者的努力，另一方面也需要读者提出宝贵的意见和建议。我们深切希望本系列教材的出版能够推动我国高等院校土建类专业教学事业的发展，并对我国高等院校土建类专业教材的改革起到积极、有效的推动作用，为培养新世纪工程建设的高级人才做出贡献。

在本系列教材编写过程中，得到了不少高等院校教师的大力支持，受到了诸多工程建设一线工程师的指点和帮助，在此特向他们致以衷心的感谢！同时，对参与编写本系列教材和为本系列教材出版作出努力的全体人员表示感谢！

北京理工大学出版社

前 言

在工程建设中，仅仅或者主要以混凝土为材料的结构称为混凝土结构，而以砖、石或各种砌块为块材，用砂浆砌筑而成的结构称为砌体结构。混凝土结构广泛应用于工程建设，而钢筋混凝土结构更已成为发展高层建筑的主要材料。砌体结构是一种历史悠久的结构，长期以来在土木工程中被广泛应用。随着砌体材料工业的发展和科学研究的不断深入，砌体结构的应用范围也在不断扩大。

近年来，随着我国建筑结构技术的迅速发展，各种新材料、新技术、新工艺的应用层出不穷。为适应高速发展的建设事业对人才的需求，我们以国家现行建筑结构设计相关规范为依据，以培养技术能力为主线组织编写了本教材。

混凝土结构与砌体结构是高等院校土建学科相关专业的主干课程之一，是工程技术人员和工程管理人员的必修课。只有具备较完整的计算理论知识，才能正确理解结构和结构构件的受力性能和设计意图；才能正确指导施工，避免由于盲目施工所造成的工程事故，对于工程中出现的问题也能做出正确的分析与处理。

本课程不仅以数学、力学、建筑材料为基础，还与建筑设计、施工技术等有密切关系。要学会运用所学基础知识，抽象出符合实际的力学模型，用力学知识去解决结构中的问题。既要注意力学和结构研究对象的不同，还要注意各门课程之间的联系，培养综合分析问题的能力，学会综合分析问题的方法。

本教材在编写时充分考虑土建工程专业的深度和广度，以“必需、够用”为度，以“讲清概念、强化应用”为重点，深入浅出，注重实用。通过本教材的学习，学生可了解混凝土结构与砌体结构的基本设计原理，掌握混凝土及砌体材料的力学性能，以及由其组成的钢筋混凝土结构、砌体结构和各种基本构件的受力特点，掌握钢筋混凝土单层厂房，多层框架及砌体结构结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法，了解结构设计的基本思路，掌握结构设计的基本方法，为从事土木工程设计、施工和管理工作奠定坚实的基础。

本教材共分为十一章，从钢筋和混凝土的力学性能，建筑结构的基本设计原则，受弯构件承载力计算，受压构件承载力计算，钢筋混凝土受拉构件承载力计算，受扭构件承载力计算，预应力混凝土构件，钢筋混凝土梁板结构，单层厂房排架结构，多、高层框架结构，砌体结构等方面详细讲解了建筑结构设计原理、计算方法等基础知识，并配有大量例题，以帮助理解、消化相关知识点，增强实际应用能力。

为方便教学，本教材在各章前设置了【学习重点】和【培养目标】，给学生学习和老师教学作出了引导；在各章后面设置了【本章小结】和【思考与练习】，从更深的层次给学生

以思考、复习的提示，从而构建了一个“引导→学习→总结→练习”的教学全过程。

本教材由杨茂森、郭清燕、梁利生主编，宋要斌、王舒萍、关春敏、申素芳副主编，既可作为高等院校土建施工类专业教材，也可作为建筑工程技术人员的参考用书。本教材在编写过程中，参阅了国内同行多部著作，部分高等院校老师提出了很多宝贵意见供我们参考，在此，对他们表示衷心的感谢！

本教材的编写虽经推敲核证，但限于编者的专业水平和实践经验，仍难免有疏漏或不妥之处，恳请广大读者指正。

编 者



目 录

绪 论	(1)
第一章 钢筋和混凝土的力学性能	(6)
第一节 钢筋的性能及要求	(6)
第二节 混凝土的力学性能	(10)
第三节 钢筋与混凝土的黏结	(15)
第二章 建筑结构设计的基本原则	(19)
第一节 建筑结构设计的功能要求和极限状态	(19)
第二节 极限状态设计方法	(21)
第三章 受弯构件承载力计算	(29)
第一节 受弯构件正截面承载力计算	(29)
第二节 受弯构件斜截面承载力计算	(54)
第三节 构件裂缝宽度及变形验算	(60)
第四章 受压构件承载力计算	(72)
第一节 轴心受压构件的计算	(72)
第二节 偏心受压构件的计算	(77)
第五章 受拉构件承载力计算	(97)
第一节 轴心受拉构件承载力计算	(97)
第二节 偏心受拉构件承载力计算	(98)
第六章 受扭构件承载力计算	(103)
第一节 纯扭构件承载力计算	(103)
第二节 弯剪扭构件承载力计算	(106)



第七章 预应力混凝土构件	(115)
第一节 预应力混凝土基本知识	(115)
第二节 预应力的施加	(119)
第三节 预应力混凝土轴心受拉构件计算	(123)
第四节 预应力损失值计算	(127)
第五节 预应力混凝土构件的构造措施	(141)
第八章 钢筋混凝土梁板结构	(146)
第一节 钢筋混凝土平面楼盖概述	(146)
第二节 单向板肋梁楼盖设计	(148)
第三节 双向板肋梁楼盖设计	(163)
第四节 装配式楼盖设计	(166)
第五节 楼梯	(172)
第六节 雨篷	(179)
第九章 单层厂房排架结构	(184)
第一节 单层厂房的组成和布置	(184)
第二节 排架结构荷载及内力计算	(193)
第三节 单层厂房柱	(202)
第十章 多、高层框架结构	(219)
第一节 多、高层框架结构的组成和布置	(219)
第二节 多、高层框架结构的构造要求	(226)
第三节 剪力墙结构	(233)
第四节 框架-剪力墙结构	(245)
第十一章 砌体结构	(250)
第一节 砌体结构概述	(250)
第二节 无筋砌体	(265)
第三节 配筋砌体构件	(274)
第四节 砌体构造要求	(285)
附录 常用数据	(306)
参考文献	(327)

绪 论

一、建筑结构的分类及其应用

建筑结构是指建筑物中由若干个基本构件按照一定组成规则，通过符合规定的连接方式所组成的能够承受并传递各种作用的空间受力体系，又称为骨架。建筑结构按承重结构所用材料可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构等。按承重结构类型可分为框架结构、剪力墙结构、框架剪力墙结构、筒体结构、排架结构、网架结构、悬索结构、壳体结构等。

混凝土结构系指由混凝土和钢筋两种基本材料组成的一种能共同作用的结构材料。自1824年发明了波特兰水泥，1850年出现了钢筋混凝土以来，混凝土结构已广泛应用于工程建设，如各类建筑工程、构筑物、桥梁、港口码头、水利工程、特种结构等领域。采用混凝土作为建筑结构材料，主要是因为混凝土的原材料（砂、石子等）来源丰富，钢材用量较少，结构承载力和刚度大，防火性能好，造价便宜。因此，它优于纯钢结构。钢筋混凝土于1903年传入我国，现在已成为我国发展高层建筑的主要材料。随着科学技术的进步，钢与混凝土组合结构也得到了很大发展，并已应用到超高层建筑中。其构造有型钢构件外包混凝土，简称刚性混凝土结构；还有钢管内填混凝土，简称钢管混凝土结构，它们的主要优点是抗震性能比混凝土结构要好。

砌体结构是砖砌体、砌块砌体、石砌体建造的结构的统称，又称为砖石结构。砌体结构是我国建造工程中最常用的结构形式，墙体结构中砖石砌体约占95%以上，主要应用于多层住宅、办公楼等民用建筑的基础、内外墙身、门窗过梁、墙柱等构件（在抗震设防烈度6度区，烧结普通砖砌体住宅可建成8层）；跨度小于24 m且高度较小的俱乐部、食堂及跨度在15 m以下的中小型工业厂房；60 m以下的烟囱、料仓、地沟、管道支架和小型水池等。

二、混凝土结构和砌体结构

1. 混凝土竖向结构

混凝土竖向结构特点是：建筑结构主要是承受垂直荷载和水平荷载。垂直荷载要求结构具有足够的抗压强度，水平荷载则要求结构具有足够的抗弯、抗剪强度以及刚度和延性。层数越高，水平荷载的作用越突出。不同结构类型所能承受的水平荷载能力不同，因此，它们拥有各自的特点和适用范围。

混凝土竖向结构有以下类型：

（1）纯框架结构。纯框架结构是由柱和梁、板所组成的承重结构。由于不设承重墙，建筑平面布置灵活，可以形成较大的空间，因此特别适用于各类公共建筑和仓库、车间。如果柱间梁的高度压缩到与楼板同样高度，成为楼板内的暗梁，则称为板柱体系。其平面布置趋于灵活，层高也可适当降低。



纯框架承受垂直荷载能力强,抵抗水平荷载的能力较低,侧向刚度差,水平位移大。高烈度地震区一般不宜采用纯框架结构建造高层建筑。

(2) 剪力墙结构。剪力墙结构是由承重墙和楼板组成的承重结构,以承重墙代替框架中的梁、柱承受建筑物的垂直荷载和水平荷载。由于建筑结构的承重墙除了要承受由于垂直荷载所产生的竖向压力外,还要承受由水平荷载所产生的剪力和弯矩,所以称为剪力墙。

剪力墙结构较框架结构承受水平荷载的能力强,刚度大,水平位移小。建造层数一般比纯框架结构要多。剪力墙既作承重墙,又作围护墙。

剪力墙结构由于承重墙多,不如框架结构灵活。改善途径之一是适当扩大承重墙的间距,采用大开间。如住宅的开间由 2.4~4.2 m 发展到 4.8~7.2 m,分户墙仍为承重墙,户内分室墙采用轻隔墙;旅馆的客房开间由 3.3~4.5 m 发展到 6.6~9.0 m,每两间设一道承重墙和一道轻隔墙。改善途径之二是减少承重内纵墙,以增强进深方向的灵活性。

为满足住宅、旅馆等高层剪力墙结构的底层设置商店、餐厅、门厅、会议厅等大空间的需要,可采用底层为部分框架,上部标准层为剪力墙的框支剪力墙结构,如图 0-1 所示。

在地震区,不允许采用底层为纯框架的鸡腿式框支剪力墙结构,应使一部分剪力墙落地形成封闭筒体,成为象腿式框支剪力墙结构。落地剪力墙的间距 L 不宜大于建筑物宽度 B 的 2.5 倍,如图 0-2 所示。

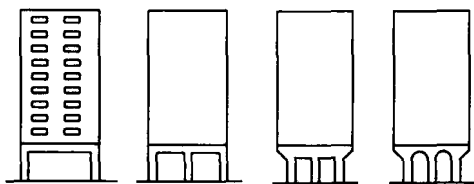


图 0-1 框支剪力墙结构剖面图

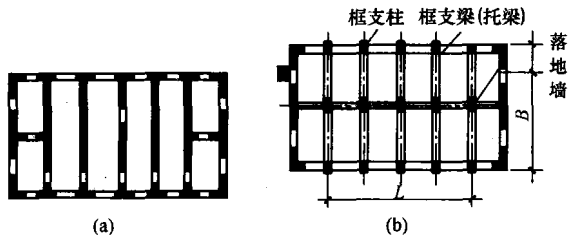


图 0-2 底层大空间剪力墙结构平面图

(3) 框架-剪力墙结构。在框架结构中设置一部分剪力墙(如在楼梯间、电梯间等部位),形成由框架和剪力墙共同作用的框架-剪力墙结构。与框架结构相比,抵抗水平荷载的能力更强,侧向刚度也更高;而且基本保持了平面布置灵活的优点。房屋的垂直荷载通过楼板分别由框架和剪力墙共同承担,而水平荷载则主要由剪力墙承担。

(4) 筒体结构。筒体结构是由框架结构和剪力墙结构发展而成的一种空间结构。由若干片纵横交接的框架或剪力墙,与楼板连接,围成筒状封闭骨架。

筒体结构由于具有承受水平荷载的良好刚度,并能形成较大的使用空间,多用于较高的建筑物。

筒体结构可分为框架-筒体、筒中筒和组合筒,其中组合筒包括成束筒和成组筒,如图 0-3 所示。我国目前采用前两种筒体结构较多。

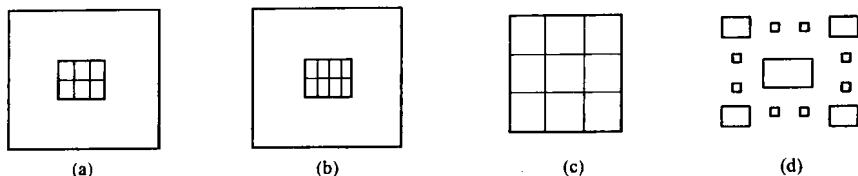


图 0-3 各种筒体典型平面图

(a) 框架-筒体; (b) 筒中筒; (c) 成束筒; (d) 成组筒

框架-筒体结构的内筒结构是指在建筑的平面中心部分形成由电梯井、楼梯间、管道间和服务间等形成的筒体,而建筑物的周围为一般柱距的框架,由内筒承受主要的水平荷载和一部分垂直荷载,外框架仅承受另一部分垂直荷载和很小的水平荷载。

筒中筒结构由内筒和外筒组合而成,通过楼板协同工作,可以共同承担很大的水平荷载。外框架密柱的间距一般在 3 m 以内。内筒通常为单筒,也有采用双层筒或三层筒的,如香港合和中心内筒即为三层筒,外筒直径 48 m,柱距 3.05 m,最大内筒直径 22 m。

成束筒是由若干单元筒集中成一体,从而形成刚度极大的空间结构。芝加哥西尔斯大厦(Sears Tower)就是由 9 个方形筒组成,每个筒的平面尺寸为 22.9 m×22.9 m,整个建筑的平面尺寸为 68.7 m×68.7 m。

成组筒是若干个单筒通过楼面组合成的空间结构。

此外,还可在内筒的周围按照客房或办公的需要设置剪力墙,形成剪力墙-筒体结构(图 0-4)。

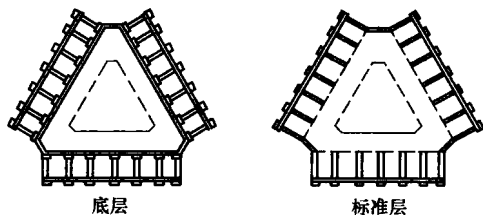


图 0-4 剪力墙-筒体结构示意图

2. 混凝土横向结构

(1) 有梁楼盖。框架结构的传统做法是采用有梁楼盖,大柱网常采用主梁—次梁—楼板的做法。优点是楼板厚度较薄,刚度较好;缺点是梁的高度大,层高增大,不利于灵活布置平面,施工较复杂。

(2) 无梁楼盖。在框架和框架-剪力墙结构中,将梁高降至与楼板同一高度,形成楼板中的暗梁,故称为板柱结构。在剪力墙结构中,通常采用无梁平板,称为板墙结构。

为了保证结构的水平刚度,采用平板式楼盖需有一定的厚度。板柱结构中设柱帽的最小厚度为 12 cm;无柱帽的最小厚度为 15 cm。为了减轻大跨度无梁楼盖(筒体结构和板柱结构)自重,增加楼盖自身的结构刚度,多采用无黏结预应力混凝土楼盖(单向或双向),跨度可达到 6~12 m。

(3) 密肋楼盖。由薄板与小梁组成,小梁的断面小且密,故称密肋。密肋可以是单向支撑,也可以是双向支撑(图 0-5),板的厚度可小至 5~6 cm。这种楼盖一般用于大柱网的

厅、书库、阅览室等。

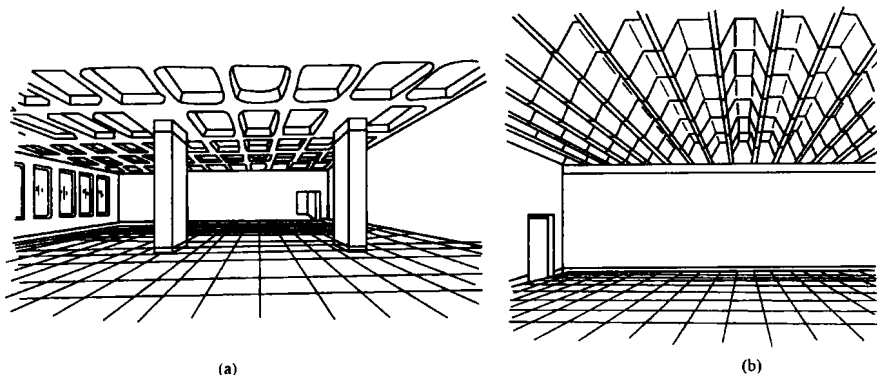


图 0-5 密肋楼板

(a) 双向；(b) 单向

(4) 叠合楼板。目前采用的是压型钢板或各种配筋（预应力钢筋、双钢筋、冷轧扭钢筋）的预制混凝土薄板作现浇层的永久性模板，其上浇筑混凝土，形成叠合层。

3. 砌体结构

砌体结构在我国的应用有着悠久的历史。闻名于世的万里长城就是用砌体筑成的城墙。生产和使用烧结砖在我国也有 3 000 年以上的历史。砌体结构主要有无筋砌体、网状配筋砖砌体、组合砖砌体、配筋砌块砌体等。

三、本课程的内容及学习要求和方法

本课程是建筑工程技术等专业的主干专业课之一，包括混凝土结构和砌体结构两大类结构体系，主要研究一般房屋建筑结构的特点、结构构件布置原则、结构构件的受力特点及破坏形态、简单结构构件的设计原理和设计计算、整体结构的分析、建筑结构的有关构造要求以及结构施工图等内容。

学习本课程，应了解建筑结构的基本设计原理，掌握钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能，以及由其组成的钢筋混凝土结构、砌体结构和各种基本构件的受力特点，掌握一般房屋建筑的结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法，正确理解国家建筑结构设计规范中的有关规定，并正确进行截面设计等，同时能处理建筑结构施工中的一般结构问题，逐步培养和提高理论联系实际的综合应用能力，打好基础为从事房屋建筑工程设计、施工及项目管理工作打下基础。

在本课程的学习过程中，要注意以下特点：

(1) 正确理解和使用计算公式。建筑结构中的公式都是建立在科学或工程实践的基础上的，因此，要理解公式的基本假定，注意公式的适用范围和限制条件。



(2) 结构设计的综合性。建筑结构设计的选择任务是选择适用、经济的结构方案,并通过承载力计算、变形验算及其配筋构造等,确定结构的设计方案。在相同荷载作用下,有多种可行的截面形式、尺寸和不同的材料选择及其不同的配筋方式与数量,即其答案具有多样性。在多种答案中,需综合考虑结构的安全性、经济性、施工方便等因素确定最合理的答案。同时,应满足设计规范的要求。设计规范是国家颁布的关于设计计算和构造要求的技术规定和标准,是具有约束性和立法性的文件,其目的是使工程结构在符合国家经济政策的条件下,保证设计的质量和工程项目的安全可靠。在本课程的学习中,有关基本理论的应用最终都要落实到规范的具体规定中。通过本课程的学习,应进一步熟悉、掌握和正确应用有关现行结构设计规范和标准。

(3) 在基础扎实的基础上注重实践。混凝土结构与力学、房屋建筑学、建筑材料等课程密切相关,它为建筑施工和建筑预算等提供依据,所以学习混凝土结构需要具备扎实的基础。此外,混凝土结构的学习还需要与实践相结合,必须结合教学去施工现场等参观学习,真正做到理论联系实际。

第一章 钢筋和混凝土的力学性能

学习重点

钢筋的强度和变形；混凝土轴心抗压强度、轴心抗拉强度；混凝土的收缩和徐变。

培养目标

了解钢筋的性能；掌握混凝土的力学性能并能计算其强度；熟悉钢筋与混凝土之间的黏结作用。

第一节 钢筋的性能及要求

一、钢筋的分类

混凝土结构用钢筋按化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢。根据含碳量的不同，碳素钢分为低碳钢（碳质量分数 $<0.25\%$ ）、中碳钢（碳质量分数为 $0.25\%\sim 0.6\%$ ）、高碳钢（碳质量分数 $>0.6\%$ ）。含碳量越高，强度越高，但塑性和可焊性下降。工程中常用低碳钢。普通低合金钢是在碳素钢的基础上，再加入微量的合金元素，如硅、锰、钒、钛、铌等，目的是提高钢材的强度，改善钢材的塑性性能。

钢筋按生产加工工艺和力学性能的不同分为普通钢筋和预应力钢筋。普通钢筋为低碳钢，由普通低合金钢在高温状态下轧制而成，如 HPB235、HRB335、HRB400 和 RRB400 级。预应力钢筋可分为热处理钢筋和预应力钢丝。热处理钢筋是将强度大致相当于 HRB400

级钢筋的某些特定钢号的钢筋经淬火和回火处理后制成，其强度可大幅度提高，而塑性降低不大。预应力钢丝由高碳钢筋经多次冷拔而成，包括光面钢丝、刻痕钢丝、钢绞线（用光面钢丝绞织而成），钢筋直径越细强度就越高。

钢筋按其外形不同，分为光面钢筋和带肋钢筋。带肋钢筋有螺旋钢筋、人字纹钢筋和月牙纹钢筋。目前常用的是月牙纹钢筋，如图 1-1 所示。通常带肋钢筋直径不小于 10 mm，光面钢筋直径不小于 6 mm。

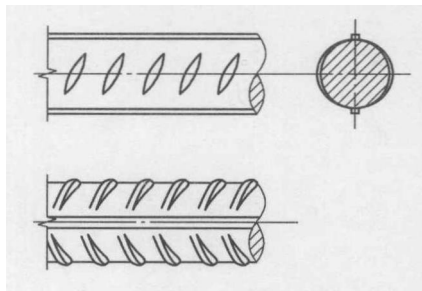


图 1-1 月牙纹钢筋

二、钢筋的强度和变形

1. 钢筋的应力—应变曲线

有明显屈服点的钢筋的典型应力—应变曲线如图 1-2 (a) 所示。图中在 a 点以前，钢筋处于弹性阶段，应力与应变成正比， a 点的钢筋应力称为“比例极限”——钢筋的屈服强度 f_y 。直线 Oa 的斜率为钢筋的弹性模量 E_s 。过 a 点以后，应变较应力增长为快。到达 b 点，钢筋开始屈服，其强度与加荷速度、截面形式、试件表面光洁度等多种因素有关，很不稳定， b 点称为屈服上限。超过 b 点以后，进入强化阶段，钢筋的应力下降到 c 点，在应力基本保持不变的情况下，应变显著增加产生较大的塑性变形，但比较稳定， c 点称为屈服下限或屈服点。与 c 点所对应的应力称为屈服强度，以 σ_s 表示，水平 cd 段称为屈服台阶或流幅。过 d 点后，钢筋还能继续承载，应力应变继续加大，到达 e 点后钢筋产生颈缩现象，应力开始下降，但应变仍能继续增长，至 f 点试件被拉断。 e 点对应的应力称为抗拉强度极限 σ_b ，曲线的 de 段称为强化阶段， ef 段称为颈缩下降阶段。

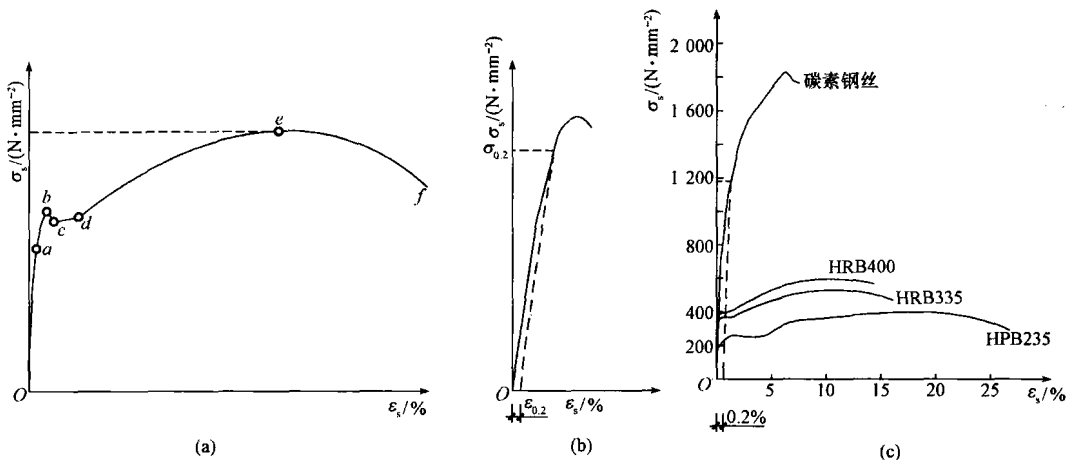


图 1-2 钢筋的应力—应变曲线

(a) 有明显屈服点；(b) 没有明显屈服点；(c) 常用钢筋

在钢筋混凝土构件计算中，一般取钢筋的屈服强度作为强度计算指标。这是因为当结构构件某个截面中的受拉或受压钢筋应力达到屈服，进入屈服台阶后，在应力基本不增长的情况下将产生较大的塑性变形，使构件最终产生不可闭合的裂缝而导致破坏，故取钢筋的屈服强度作为构件破坏时的强度计算指标。

没有明显屈服点的钢筋的典型应力—应变曲线如图 1-2 (b) 所示。由图可见，它没有明显的屈服平台，其强度很高，但延伸率大为降低，塑性性能减弱。设计上取相应于残余应变为 0.2% 的应力为名义屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ，大约为国家标准的抗拉强度极限 σ_b 的 85%。



图 1-2 (c) 为各级钢筋的应力—应变曲线。从图中可以看出, 普通钢筋应力—应变曲线都有明显的屈服点, 这种钢筋即为低碳钢, 亦称软钢。没有明显屈服点的热处理钢筋和钢丝, 称为硬钢。

对于抗震结构, 钢筋应力在地震作用下可考虑进入强化段, 为了保证结构在强震下“裂而不倒”, 对钢筋的极限抗拉强度与屈服强度的比值有一定的要求, 一般不小于 1.25。钢筋在弹性阶段应力与应变的比值, 称为弹性模量, 用 E_s 表示

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\epsilon_s} \quad (1-1)$$

2. 钢筋的塑性性能

反映钢筋的塑性性能的基本指标是钢筋的伸长率、冷弯性能。钢筋试件拉断后的伸长值与原长的比值称为伸长率。伸长率愈大, 塑性性能愈好。冷弯是将直径为 d 的钢筋绕直径

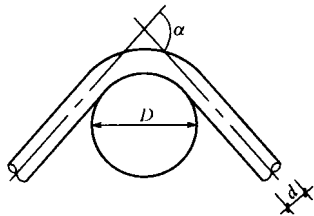


图 1-3 钢筋的冷弯

为 D 的钢辊进行弯曲, 如图 1-3 所示, 弯成一定的角度而不发生断裂, 并且无裂纹、鳞落或断裂现象, 即认为钢筋的弯曲性能符合要求。通常 D 值愈小, α 值愈大, 则其弯曲性能、塑性性能愈好。

屈服强度、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能是有明显屈服点钢筋进行质量检验的四项主要指标。表 1-1 列出了常用钢筋的强度、伸长率、冷弯性能和弹性模量等各项指标。

表 1-1 常用钢筋的力学性能指标

钢筋级别	钢 号	公称直径 d/mm	屈服强度 $/(N \cdot \text{mm}^{-2})$	抗拉强度 $/(N \cdot \text{mm}^{-2})$	伸长率 δ_5	冷弯性能 α (弯曲角度), D (弯心直径)	弹性模量 $/(N \cdot \text{mm}^{-2})$
HPB235	Q235	8~20	235	370	25	$\alpha=180^\circ, D=d$	2.1×10^5
HRB335	20MnSi	6~25	335	490	16	$\alpha=180^\circ, D=3d$	2.0×10^5
		28~50				$\alpha=180^\circ, D=4d$	
HRB400	20MnSiV	6~25	400	570	14	$\alpha=180^\circ, D=4d$	2.0×10^5
	20MnSiNb 20MnTi	28~50				$\alpha=180^\circ, D=5d$	
RRB400	K20MnSi	8~25	400	600	14	$\alpha=90^\circ, D=3d$	2.0×10^5
		28~40				$\alpha=90^\circ, D=4d$	

3. 钢筋的冷加工

为了节约钢材, 在常温下对有明显屈服点的钢筋(软钢)进行机械冷加工, 可以使钢材内部组织结构发生变化, 从而提高钢材的强度, 但其塑性会有所降低。